

1. 緒言: 疲労き裂が進展するか否かの条件については従来2つの考え方がある。1つは Frost⁽¹⁾ 以来の予き裂の破断強度から求めたき裂長さであり, 1つはいわゆるき裂進展下限条件(K_{th})である。長いき裂について理想的なK減少試験で求めた K_{th} はき裂長さと同一の数値を与えると考えられること, およびき裂長さを決定するには多数の実験を必要とすることから, 現在では1本の試験片を用いたK減少試験で K_{th} を求めている場合が多い。しかし現実に報告されている試験結果では K_{th} はおおむねき裂長さより高目に求められている様である。K減少試験において考慮すべきパラメータは減少を開始する際のKの初期値, 即ち最大のK値である (K_{max})_i とKの減少率の2つである。現在広く行われている方法では (K_{max})_i は影響しないと考へ, 主としてKの減少率に関心が払われ, 繰返し破壊力学の知識から荷重前歴の影響は前段階の塑性域寸法程度進展すれば消失するであろうという推測に基づいて決定している場合が多い。

しかし筆者らがき裂開閉口挙動を実測した結果, き裂開口点 K_{op} に及ぼす荷重前歴の影響はK増加試験の場合は塑性域寸法程度で消失し K_{op} は定常値に達するが, K減少試験の場合は塑性域寸法の数倍程度以上にわたって存在し, いったん上昇した K_{op} は容易に定常値に戻らないことが分った。従って通常のK減少試験では前歴の影響が十分消失せず, K_{op} が上昇したままの状態の下限条件に達してしまい, K_{th} は高目に求められている場合が多く, この値を用いて前歴の影響が小さいき裂状欠陥からの定荷重による進展開始条件を推定すれば危険となることがある。

そこで本報では, 通常のK減少法による進展下限条件 K_{th} と理想き裂に近いき裂からのK増加法による進展開始条件を比較し, その差をき裂開閉口挙動の立場から考察し, K_{th} 試験法について検討を行う。

2. 試験片および試験方法: 使用した材料は鉄系材料としてS35C, アルミニウム系材料としてA5083-Oととりあげた。化学成分, 機械的性質を表1に示す。試験は応力比 $R=0$ で, 図1に示す板状試験片を用い, 周波数40 Hzの面内曲げとし, 降荷弾性コンプライアンス法によりき裂開口点, き裂長さを測定した。試験片にはサイドグローブを付することによりき裂前縁が直線状になる様にし, 平面ひずみ条件に近づけている。

K減少による K_{th} 試験法はSasaki⁽⁴⁾の研究を参考にしK値をき裂長さに対し直線的に減少させる方法で, K値の

表1 供試材料

Chemical composition of materials investigated (%)

Material	Mg	Mn	Si	Ti	Fe	Cr		
A5083-O	4.46	0.63	0.18	0.017	0.19	0.12		
	C	Mn	Si	P	S	Cu	Ni	Cr
S35C	0.38	0.72	0.25	0.010	0.015	0.04	0.02	0.13

Mechanical properties of materials investigated.

Material	Yield point () Proof stress (kg/mm ²)	Tensile strength (kg/mm ²)	Elongation (%)	Reduction of area ψ (%)	Fracture ductility ε _f (%)
A5083-O	(13.4)	30.7	23.5	42.1	54.7
S35C	38.0	62.4	23.7	58.5	88.0

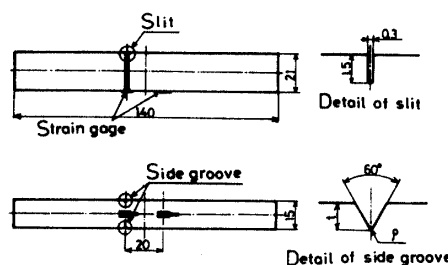


図1 試験片

	t (mm)	P (mm)
A5083-O	1.5	0.1
S35C	0.7	1.0

減少率はS35Cについては主として $dK_{max}/dl = -10 \text{ kgmm}^{3/2}/\text{mm}$,
A5083-0については $dK_{max}/dl = -3 \text{ kgmm}^{3/2}/\text{mm}$ に選んだ。

き裂強さ試験では理想き裂状態の予き裂を形成する必要
がある。それには前報の様に疲労予き裂を真空焼鈍するの
が望ましいが手数を要するので、本報では別の簡便な方法
を考案した。即ち、き裂強さの予想値の K_{max} ($R=0$)より引
張側の K_{max} は低く抑え、そのかわりに $R=-3$ 程度の大き
な圧縮側荷重を付与し、予き裂発生に必要な荷重振幅を与
えるとともに、圧縮応力により $R=0$ の場合よりき裂開口点
 K_{op} を上昇させない様にした。この様な荷重条件でスリット
の影響領域を超え所まで予き裂を進展させた後 $R=0$ の
試験に移行すれば試験開始条件に対するそれより小さな塑
性域および低い K_{op} の理想き裂に近い予き裂が作成できる。

3. S35Cの試験結果:

図2に K_{max} と速度の関係を示す。黒印で示すK減少試験結果はいづ
れも○印のK増加試験結果より速度が
遅く、 $(K_{max})_{th}$ も高目に求まっており、
 $(K_{max})_i$ が大きい程その傾向は著しい。
○印のK増加試験結果は全てのK減少
試験結果を安全側に包含する形になっ
ている。このことはK増加法とK減少
法の場合でき裂開閉口挙動が異なるか
らで、図3に示す K_{op} の挙動を考えら
ば良く理解できる。K減少試験の際のスリットか
ら最大K値 $(K_{max})_i$ まで達する過程では○印のK
増加の結果に従って K_{op} が上昇するが、 $(K_{max})_i$
によっていったん上昇した K_{op} はその後のK減少
過程においても低下しないため○印で示すK増加
法による場合より常に高目に位置しており、斜線
で示す Threshold zone に達する $(K_{max})_{th}$ は高目と
なる。また $(K_{max})_i$ が大きい程 $(K_{max})_{th}$ が高くな
るのとは $(K_{max})_i$ が大きい程 K_{op} が高くなるため
である。この結果を ΔK_{eff} で整理すれば図4に示す
様に全ての条件に対してほぼ1つの曲線で表わさ
れ、 $(\Delta K_{eff})_{th}$ もほぼ同一の値となる。従って

ΔK_{eff} についてみる限りK減少法による K_{th} 条件もき裂強さも同一であり、 K_{max} についての差はそれを求める際の K_{op} の挙動の差に起因するものである。K減少試験で K_{th} を求め

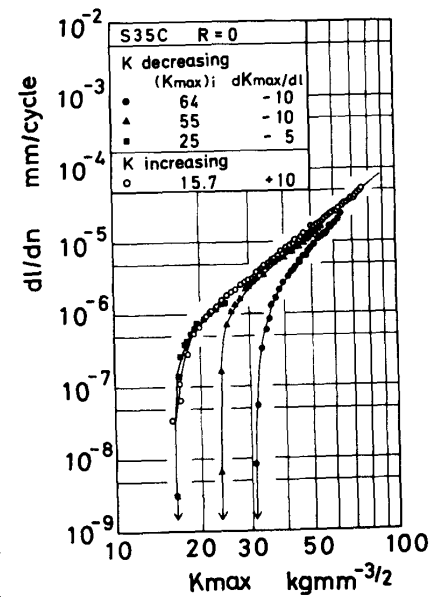


図2 K_{max} ~ 進展速度

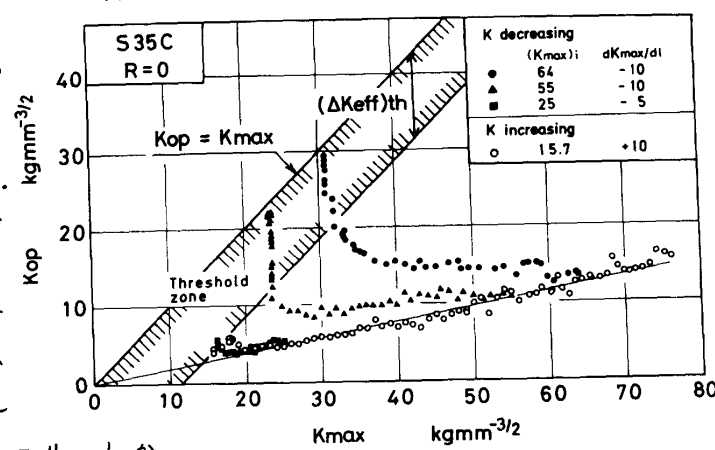


図3 き裂開口点の挙動

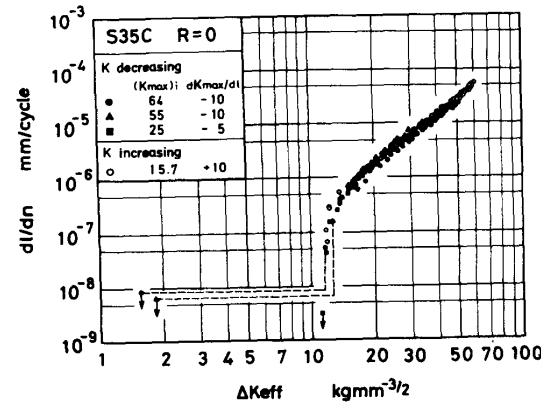


図4 ΔK_{eff} と進展速度の関係

た後K増加試験を行い同じ進展曲線が得られたとしても、 K_{op} が上昇したまま同じ値とする場合は当然その様な挙動を示すわけで、そのことはこの様に求めて K_{th} の値が普遍的な下限界を与えている保証にはならないことは注意を要する。

極めてゆるやかな理想的なK減少試験で、 K_{op} に及ぼす前歴の影響を抜くことができれば $(K_{max})_i$ にかかわらず普遍的な K_{th} の最小値が求め得るはずであるが、通常の試験に用いられる数十mm程度の試験片ではその様な理想的な条件を実現することは極めて困難な様であり、現実のK減少試験では $(K_{max})_i$ の影響をうけた K_{th} が求められている場合が多い。

4. A5083-Oの試験結果: 図5に K_{max} と速度の関係を示す様に、○印のK増加試験結果は黒印のK減少試験結果を包含する形となり、進展開始条件は全ての K_{th} より低くなっている。 K_{op} の挙動は図6に示す様に幾分複雑であり、S35Cと少し異なりK減少と共に若干低下する傾向がみられるが、どこまでも低下を続けるわけではなく、各条件に応じた限界がある様で、あるレベルで水平に向い下限条件に至っている。この様に K_{op} はいく分低下するもののやはり○印のK増加の場合よりは高目であるため K_{th} はK増加試験の場合より高目に求まっている。速度を ΔK_{eff} で整理すると図7の様にほぼ1つの帯で表わされることから、K増加とK減少試験における進展挙動の差異は K_{op} に及ぼす荷重前歴の影響で良く説明される。この様な K_{op} の挙動は材料が異なっても存在する一般的な性質の様である。

以上より K_{th} の最小値を求めるにはK増加法により理想予き裂からの進展開始条件を求める方が容易でありしかも安全である。しかし理想予き裂を作成するのが困難で、K減少法によらざるを得ない場合は K_{op} の挙動を十分に考慮して、例えば図2, 3の■印の様に十分低い $(K_{max})_i$ からK減少を開始すれば、 K_{th} の最小値であるという保証はないものの、ほぼ妥当な値が得られる様である。

文献: (1) Frost, J. Mech. Engng. Sci., 5-1, (1963), 15. (2) 菊川ほか, 機軸論, 804-2, (昭55-3), 34. (3) 菊川ほか, 材料, 35-276, (昭51-9), 899. (4) Sasaki et al, Trans. NRIIM, 19-4, (1977), 183. (注) S35Cでは下限条件において荷重繰返しに対し ΔK_{eff} が減少する場合がある。その様な場合はK値を $(K_{max})_{th}$ に下げた後主裂は若干進展するが(最大50 μ m程度)その荷重下ではヤゲて K_{op} が上昇し完全に停止するので、連続的に減少してゆく ΔK_{eff} の初期値を $(\Delta K_{eff})_{th}$ と定義した。

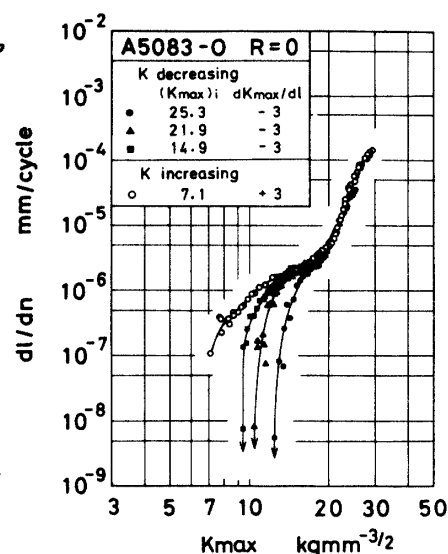


図5 K_{max} と進展速度の関係

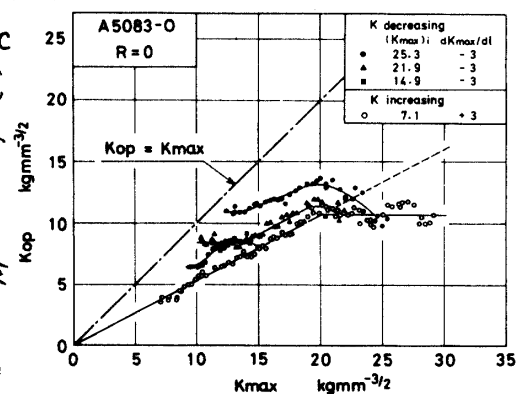


図6 き裂開口点の挙動

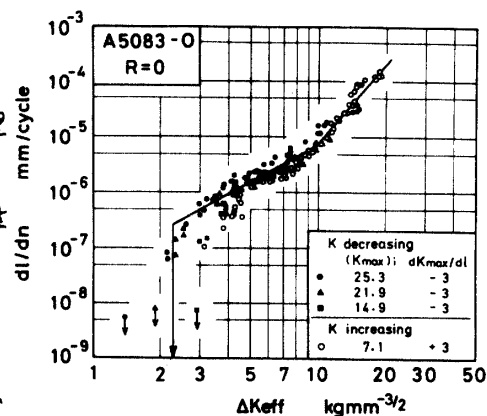


図7 ΔK_{eff} と進展速度の関係